

## Impacto de un incremento de la capacidad de generación de energía a partir de biomasa en plantas de co-generación en Andalucía

Manuel Alejandro Cardenete<sup>a</sup>, José Manuel González<sup>b</sup>,  
M<sup>a</sup> del Pópulo Pablo-Romero<sup>c</sup> y Rocío Román<sup>d</sup>

**RESUMEN:** El artículo realiza una estimación del impacto económico regional del desarrollo de las energías renovables (ee.rr.) basadas en el uso de la biomasa. El ámbito regional es el de Andalucía y el nivel de desarrollo de las ee.rr. se asume que alcanza el objetivo fijado en el Plan Andaluz de Sostenibilidad Energética (PASENER) 2007-2013. Para la estimación del impacto económico se utiliza un Modelo de Equilibrio General Aplicado (MEGA) construido sobre la Matriz de Contabilidad Social (MCS) actualizada para Andalucía para el año 2008. Los resultados muestran que alcanzar el objetivo del PASENER supondría un aumento productivo del 4,02%.

**PALABRAS CLAVE:** Biomasa, energías renovables, matriz de contabilidad social, modelo de equilibrio general aplicado.

**Clasificación JEL:** C68, Q43.

### Impact of an increase in the capacity of power generation from biomass in co-generation plants in Andalusia

**ABSTRACT:** The paper estimates the regional economic impact of renewable energy development (inv) based on the use of biomass. The regional level is Andalusia. The analysis is carried out under the assumption that achieves the goal of renewable energy development set in Andalusian Sustainable Energy Plan (PASENER) 2007-2013. To estimate the economic impact, a General Equilibrium Model (CGE) is used based on the Social Accounting Matrix (SAM) updated for Andalusia in 2008. The results show that if the goal of PASENER is met, there might be an increase production of 4.02%.

**KEY WORDS:** Biomass, renewable energy, social accounting matrix, applied general equilibrium model.

**CJEL classification:** C68, Q43.

*Agradecimientos:* <sup>a</sup>Agradece la financiación recibida de los proyectos MICINN-ECO2009-11857 y SGR2009-5781 y SEJ479. <sup>bcd</sup>Agradecen la ayuda financiera recibida del proyecto SEJ132. Todo los autores agradecen la ayuda recibida de la Agencia Andaluza de la Energía y los comentarios recibidos de los asistentes al II Workshop on Public Policies: Training Programs Evaluation and Renewable Energies Promotion y de los revisores anónimos de la revista.

*Dirigir correspondencia a:* María del Pópulo Pablo-Romero E-mail: [mpablorm@us.es](mailto:mpablorm@us.es)

<sup>a</sup> Departamento de Economía. Universidad Pablo Olavide.

<sup>b</sup> Departamento de Análisis Económico y Economía Política. Universidad de Sevilla

<sup>c</sup> Departamento de Análisis Económico y Economía Política. Universidad de Sevilla

<sup>d</sup> Departamento de Análisis Económico y Economía Política. Universidad de Sevilla

Recibido en enero de 2010. Aceptado en noviembre 2010.

## 1. Introducción y objetivos

La puesta en funcionamiento de una planta de producción energética tiene un impacto directo en la demanda agregada asociado a la contratación de los *inputs* necesarios para su construcción primero y funcionamiento posterior. Junto al impacto directo, resulta relevante conocer, desde un punto de vista económico, los efectos inducidos asociados a las nuevas plantas energéticas. En el caso de la producción de energía final a partir de fuentes de energía renovable como fuente primaria, ambos impactos han sido habitualmente estimados utilizando modelos Input-output (I-O). En este sentido, caben destacar los análisis I-O realizados por Cook (1998), US-DOE (1992) y Ciorba *et al.* (2004), para la economía de los EE.UU. En Europa destacan los trabajos que con esta misma tecnología llevan a cabo Kuliši *et al.* (2007), Madlener y Koller (2007) y Allan *et al.* (2008). Recientemente, Caldés *et al.* (2009), Calzada *et al.* (2009), MITRE (2009) y Moreno y López (2008), han utilizado también el modelo I-O para estimar el impacto económico de las energías renovables (ee.rr.) en España.

No obstante, las tablas I-O que sirven de base para la realización de estos estudios no recogen todas las transacciones que se realizan entre los factores productivos y los componentes de la demanda final. Por esta razón, se han desarrollado las matrices de contabilidad social (MCS), que amplían la información de las tablas I-O, completando el flujo circular de la renta en una matriz cuadrada, que incorpora la información económica y social de todas las transacciones entre todos los agentes de una economía, en un momento determinado del tiempo.

A partir de Stone (1962) y Pyatt y Round (1979), la primera SAM cuadrada para España la elaboraron Kehoe *et al.* (1988) para el año 1987. Posteriormente, se han venido realizando nuevas MCS para la economía española, como las de Uriel *et al.* (1997), Fernández y Polo (2001), Cardenete y Sancho (2006), Uriel *et al.* (2005), y Sánchez-Chóliz *et al.* (2007). Asimismo, se han desarrollado MCS a nivel regional. Entre ellas destacan, las realizadas por Curbelo (1988), Cardenete (1998) y Cardenete y Moniche (2001) para Andalucía, por Rubio (1995) para Castilla y León, por De Miguel *et al.* (1998) y De Miguel (2003) para Extremadura, por Ramos *et al.* (2001) para Asturias, por Manresa y Sancho (2004), y Llop y Manresa (1999) para Cataluña; por Mainar y Flores (2005) para Aragón y por Cámara (2006) para Madrid.

El objetivo de este trabajo es estimar, a partir de la MCS de Andalucía referida a 2008, el impacto productivo que provocaría un incremento de la capacidad instalada para la generación de energía a partir de la biomasa como fuente primaria de energía. La instalación de este tipo de plantas es compatible con el cumplimiento de los objetivos fijados por el Gobierno Regional en el Plan Andaluz de Sostenibilidad Energética 2007-2013 (PASENER), publicado por la Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa (2007). El Cuadro 1 resume el incremento en la capacidad necesaria para alcanzar estos objetivos relativos a los tres usos considerados de la biomasa.

**CUADRO 1**  
**Capacidad instalada para los usos de la biomasa en 2007 y objetivos fijados en el PASENER**

|                                     | Ud   | Capacidad Instalada<br>2007 | Objetivos PASENER<br>2013 | $\Delta$ porcentual<br>2007-2013 |
|-------------------------------------|------|-----------------------------|---------------------------|----------------------------------|
| <b>Biomasa uso térmico</b>          | Ktep | 564,1                       | 649                       | 84,9                             |
| <b>Biomasa generación eléctrica</b> | MW   | 164,2                       | 256                       | 91,8                             |
| <b>Biomasa co-combustión</b>        | MW   | 0                           | 122                       | 122                              |

Fuente: Agencia Andaluza de la Energía

En concreto, se estima el impacto sobre la producción andaluza provocado por el incremento de la capacidad de generación de energía a partir de la biomasa para uso térmico, para generación eléctrica y en plantas de co-combustión. Para ello, se consideran los costes de inversión y de operación y mantenimiento (O & M) de una planta tipo en cada una de las tres tecnologías y el incremento en la capacidad necesaria para alcanzar los objetivos establecidos en el PASENER a partir de las capacidades instaladas.

Para valorar estos costes se han analizado diversas fuentes. Por un lado, los informes realizados por las agencias energéticas de la administración pública, y por otro se ha solicitado información a asociaciones del sector y a empresas promotoras con proyectos ejecutados o en curso. En este sentido, caben destacar los estudios del Instituto para la Diversificación y Ahorro energético, en relación tanto a la biomasa térmica, como la que tiene como fin la conexión a la red eléctrica [véase IDAE (2007a) y (2007b)], los de la Agencia Andaluza de la Energía (2008a y 2008b), así como el estudio realizado por la Asociación de Productores de Energías renovables [véase APPA (2009)] y los proyectos publicados por Era (Energy Research Architecture)<sup>1</sup> en el campo de la biomasa.

Para estimar este impacto productivo, a partir de la MCS indicada anteriormente, se emplea un Modelo de Equilibrio General Computable–MEGA. Este tipo de modelos desarrollados por Shoven y Whalley (1972), Whalley (1975, 1977) y Shoven (1976), entre otros, permite analizar el efecto de determinadas políticas económicas sobre una economía en concreto, partiendo de la teoría del equilibrio general de Walras (1874).

La estructura del trabajo es la siguiente. Tras esta introducción, en el apartado 2 se describe con detalle el MEGA y la MCS de Andalucía empleados en el análisis, así como los datos utilizados para la evaluación del impacto del incremento de la capacidad instalada para los usos de biomasa. En el apartado 3, se analizan los principa-

<sup>1</sup> Información sobre estos proyectos puede encontrarse en la página web de Era: <http://www.energy-research-architecture.com/referencias/>

les resultados, tanto para una planta tipo de cada tecnología empleada, como los efectos derivados del cumplimiento de los objetivos PASENER. Finalmente, en el último apartado, se recogen las principales conclusiones de este estudio.

## 2. Modelo y datos

### 2.1. El modelo

Las MCS poseen dos características básicas que las hacen atractivas como bases de datos: su doble carácter descriptivo y analítico.

Por un lado, una MCS contiene un elevado grado de detalle informativo en cuanto a transacciones y flujos bilaterales, lo que permite visualizar, en primera instancia, la red de interconexiones directas entre sus cuentas ofreciendo una radiografía o imagen estática de la economía. Por otro lado, y tras incorporar supuestos de conducta y de estructura de los agentes económicos y su entorno, la estructura de una MCS se convierte en el soporte numérico que permite desarrollar modelos multisectoriales como el MEGA<sup>2</sup> utilizado en el trabajo.

La base de datos utilizada en este trabajo como fuente de información básica ha sido la MCS confeccionada por Cardenete *et al.* (2010) a partir del Marco I-O de 2000 para Andalucía. Las principales fuentes estadísticas utilizadas han sido las citadas tablas I-O de Andalucía de 2000 (TIOAND-00), del Instituto de Estadística de Andalucía; la Contabilidad Regional de Andalucía de 2000 (CRA-00), del Instituto de Estadística de Andalucía; la base de datos TEMPUS (BDT-00) del Instituto Nacional de Estadística, y la Contabilidad Regional de España de 2000 (CRE-00), entre otras.

Esta matriz ha sido actualizada para el año 2008 mediante el método de entropía cruzada<sup>3</sup>, por lo que nos referiremos a ella como MCSAND08. Esta metodología minimiza la distancia entre la matriz usada como base —en este caso la MCS de Andalucía del 2000— y la nueva matriz a estimada —la MCSAND08— a partir de la información contenida en la Contabilidad Regional de Andalucía del Instituto de Estadística de Andalucía (lo que se denomina la metodología de entropía cruzada)<sup>4</sup>. Todas las cifras monetarias están referidas al año 2008.

En cuanto al grado de desagregación de los sectores de la MCSAND08, indicar que posee 39 x 39 sectores, en cuya estructura se describen los flujos realizados en la economía andaluza para el año 2008.

Los sectores productivos se han reducido a 27 (cuentas de la 1 a la 27); dos factores productivos: trabajo y capital (cuentas 28 y 29, respectivamente); la cuenta de ahorro/inversión (cuenta 31); los sectores institucionales: la administración pública (cuenta 38); el consumo (cuenta 30) y los diferentes impuestos: cotizaciones sociales de los empleadores, impuestos netos sobre la producción, tarifas, impuesto sobre el

<sup>2</sup> Véase para un repaso de todos estos modelos Shoven y Whalley (1992).

<sup>3</sup> Véase una amplia explicación de esta metodología y algunas aplicaciones en Jaynes (1982), Golan *et al.* (1996) y Arndt (2002).

<sup>4</sup> Véase una amplia explicación de esta metodología de actualización en Cardenete y Sancho (2004).

valor añadido (IVA), impuesto sobre la renta de las personas físicas y cotizaciones sociales de los empleados (de la cuenta 32 a la 37); y, por último, el sector exterior (cuenta 39). Las dos primeras columnas de la Tabla 8 detallan los sectores productivos considerados en el modelo.

El modelo incluye un conjunto de ecuaciones que reflejan las condiciones de equilibrio y el comportamiento de los diferentes agentes económicos: productores, consumidores, sector público y sector exterior.

En esta subsección, se presenta un análisis detallado de cada sector o agente (apartados A a D), incluyendo algunas observaciones en relación con el mercado de trabajo (apartado E) y la noción de equilibrio utilizada (apartado F)<sup>5</sup>.

#### A. Producción

El modelo para la economía andaluza incorpora 27 sectores productivos. Se asume que cada sector genera un producto homogéneo según una función de producción anidada. En el primer nivel de anidamiento, siguiendo la hipótesis de Armington, la producción total de cada sector ( $Q_j$ ) se obtiene de una función tipo Cobb-Douglas agregada que incluye la producción interior ( $Qd_j$ ) y las importaciones ( $Qm_j$ ). En el segundo nivel, la producción interior para cada sector se obtiene con una tecnología con coeficientes constantes que relaciona los factores productivos correspondientes a los sectores  $i$  utilizados para la producción total del sector  $j$  ( $X_{ij}$ ) y el valor añadido ( $VA_j$ ). Finalmente, en el tercer nivel, el valor añadido de cada sector se obtiene mediante la combinación de los factores primarios, capital ( $K_j$ ) y trabajo ( $L_j$ ), de acuerdo con una función con tecnología Cobb-Douglas. Las expresiones utilizadas en estos tres niveles están dadas por [1], [2] y [3] respectivamente:

$$Q_j = \beta_{Aj} Qd_j^{\delta dj} Qm_j^{1-\delta dj} \quad [1]$$

$$Qd_j = \min \left\{ \frac{X_{1j}}{a_{1j}}, \frac{X_{2j}}{a_{2j}}, \dots, \frac{X_{27j}}{a_{27j}}, \frac{VA_j}{v_j} \right\} \quad [2]$$

$$VA_j = \beta_j K_j^{\alpha_j} L_j^{1-\alpha_j}, \quad j = 1, 2, \dots, 27 \quad [3]$$

En estas expresiones,  $\beta_{Aj}$  y  $\beta_j$  son parámetros escalares;  $\delta dj$  son parámetros que reflejan la participación de la producción interior de  $j$  en la producción total de  $j$ ; los parámetros  $\alpha_{ij}$  expresan la cantidad mínima de  $z$  necesaria para obtener una unidad de  $j$ ;  $v_j$  es el coeficiente técnico del valor añadido; y, finalmente,  $\alpha_j$  y  $(1-\alpha_j)$  son parámetros que representan la participación de los factores primarios, capital y trabajo, con respecto al valor añadido.

<sup>5</sup> Para una visión más completa del modelo utilizado en este trabajo, véase Cardenete y Sancho (2003).

Por último, se supone que las empresas obtienen sus funciones de demanda de inputs y oferta de outputs mediante la maximización del beneficio sujetas a restricciones tecnológicas.

### B. Consumo

El modelo considera un único consumidor representativo  $h$ . La función de utilidad considerada es del tipo Cobb-Douglas ( $U$ ), y queda definida en términos de ahorro y consumo:

$$U = \sum_{j=1}^{27} \gamma_j \ln C_j + \gamma_s \ln S \quad [4]$$

En [4], los parámetros  $\gamma_j$  y  $\gamma_s$  reflejan la parte de la renta disponible destinada a los bienes de consumo  $j$  y/o para el ahorro privado.  $S$  representa el ahorro y  $C_j$  expresa el consumo privado del bien  $j$  del consumidor representativo  $h$ .

La desigualdad [5] muestra la restricción presupuestaria para el consumidor representativo<sup>6</sup>:

$$\sum_{j=1}^{27} p_j (1 + vat_j) C_j + p_i S = \sum_{j=1}^{27} p_j^F C_j + p_i S \leq YD \quad [5]$$

La suma del lado izquierdo de la desigualdad es el gasto final en bienes de consumo. El parámetro  $vat_j$  es el tipo del impuesto sobre el valor añadido para el bien  $j$ , y  $p_j$  es su precio final para el consumo, impuestos incluidos. El ahorro privado está también incluido en la expresión, valorándose a precios de ahorro/inversión,  $p_i$ .

El lado derecho de la desigualdad [5] muestra la renta disponible,  $YD$ . Esta renta procede del alquiler de los bienes de capital ( $K$ ) y del trabajo ( $L$ ), a los precios  $r$  y  $w$  respectivamente. Adicionalmente, las familias reciben transferencias del sector público, ( $TPS$ ), indicadas por el IPC ( $cpi$ ), y reciben transferencias del sector exterior ( $TFS$ ), aunque su importancia cuantitativa total es mínima. Finalmente, las familias tienen que pagar las contribuciones a la Seguridad Social y el impuesto sobre la renta, cuyos tipos impositivos son  $ess$  y  $\tau$ , respectivamente.

Por tanto, la renta disponible del único consumidor representativo<sup>7</sup> está dada por [6]:

$$YD = (1 - \tau)[rK + wL(1 - u) + cpi \, TPS + TFS - ess \, wL(1 - u)] \quad [6]$$

El consumidor representativo deriva su función de demanda de consumo mediante la maximización de su función de utilidad sujeta a la restricción presupuestaria representada por [5].

<sup>6</sup> Debido a la forma de la función de utilidad del consumidor -monótonamente creciente- esta débil desigualdad debe ser considerada como una igualdad en el equilibrio. El mismo comentario es válido para la expresión [8]-restricción presupuestaria.

<sup>7</sup> Como se comentará más adelante,  $u$  es una variable endógena que refleja el nivel de desempleo.

### C. Sector Público

La actividad del Sector Público supone, por un lado, la provisión de servicios públicos, que se obtiene con la tecnología específica del sector de “Servicios no destinados a la venta” ( $j_{27}$ ). Por otro lado, dicha actividad consiste en la demanda de bienes de consumo público, ( $C_{j_{27}}^G$ ) y bienes de inversión ( $C_i^G$ ). En este sentido, este agente puede ser considerado como maximizador de una función de utilidad de Leontief ( $U^G$ ), definida por [7]:

$$U^G = \min \{C_{j_{27}}^G, \gamma^G C_i^G\} \quad [7]$$

donde  $\gamma^G$  es un parámetro de la política económica que refleja la existencia de una proporción fija entre el consumo y la inversión pública<sup>8</sup>.

La restricción presupuestaria que el sector público afronta puede expresarse por la desigualdad [8]:

$$p_{j_{27}} C_{j_{27}}^G + p_i C_i^G \leq R^G + p_i w_i^G - cpi TPS \quad [8]$$

El lado izquierdo de la desigualdad refleja el gasto público en consumo e inversión. En el lado derecho, los ingresos impositivos son ( $R^G$ ), de los cuales deben sustraerse las transferencias pagadas a las familias y sumarse el stock de deuda que el gobierno genera cuando entra en déficit, valorada al mismo precio que los precios del ahorro/inversión,  $p_i (p_i w_i^G)$ .

Con respecto a los ingresos impositivos totales  $R^G$ , el modelo incluye impuestos netos sobre la producción (a), contribuciones a la Seguridad Social a cargo de las empresas (b), impuestos sobre las importaciones (c), impuesto sobre el valor añadido (d), contribuciones de los trabajadores a la Seguridad Social (e) e impuesto sobre la renta (f). Los componentes de la recaudación impositiva (a) a (f) están especificados en las expresiones [9] a [14] respectivamente:

a) Impuestos netos sobre la producción ( $Rt$ ):

$$Rt = \sum_{j=1}^{27} t_j \left[ \sum_{z=1}^{27} p_z X_{zj} + w(1 + esc_j) L_j + rK_j \right] \quad [9]$$

La expresión anterior implica que la producción interior de cada sector está sujeta a un impuesto al tipo  $t_j$ . El precio de producción para el sector  $z$  es  $p_z$  y  $X_{zj}$  el factor productivo del sector  $z$  utilizado para la producción total del sector  $j$ . Finalmente,  $esc_j$  establece el tipo de las contribuciones a la Seguridad Social de las empresas.

<sup>8</sup> La base de datos sobre la que se sustenta un Modelo de Equilibrio General Aplicado es una MCS extensión de una tabla I-O. Esta tabla posee, por definición una estructura de tecnología fija –tecnología tipo Leontief- por lo que las definiciones de las ecuaciones del modelo pueden usar esta misma tecnología al tratarse de un modelo estático y a corto plazo. En la literatura de modelos I-O se da como válida la permanencia de estos coeficientes en plazos inferiores a cinco años.

b) Contribuciones a la Seguridad Social a cargo de las empresas (*Resc*):

$$Resc = \sum_{j=1}^{27} esc_j w L_j \quad [10]$$

c) Impuestos sobre las importaciones (*Rtarif*):

$$Rtarif = \sum_{j=1}^{27} tarif_j p_m Qm_j \quad [11]$$

donde *tarif<sub>j</sub>* es el tipo impositivo arancelario para el sector *j*, mientras que *p<sub>m</sub>* es el índice de precios ponderado de los productos importados.

d) Impuesto sobre el Valor Añadido (*Rvat*):

$$Rvat = \sum_{j=1}^{27} vat_j p_j C_j \quad [12]$$

e) Contribuciones de los trabajadores a la Seguridad Social (*Ress*):

$$Ress' = ess w L (1 - u) \quad [13]$$

donde *ess* establece el tipo de las contribuciones de los trabajadores a la Seguridad Social.

f) Impuesto sobre la renta (*Rτ*):

$$R\tau = \tau [rK + wL(1 - u) + cpi TPS + TFS - ess wL(1 - u)] \quad [14]$$

Las ecuaciones [9] a [14] muestran los impuestos incluidos en el modelo de referencia.

#### D. Sector exterior

El modelo considera un único sector exterior que incluye al resto de España, a la Unión Europea y al resto del mundo.

$$ROWD = \sum_{j=1}^{27} tarif_j Qm_j - TFS - \sum_{j=1}^{27} tarif_j Qx_j \quad [15]$$

donde *Qm<sub>j</sub>* representa las importaciones de productos extranjeros del sector *j*, *Qx<sub>j</sub>* las exportaciones de productos del sector *j* y *TFS* las transferencias procedentes del exterior para el consumidor representativo. El déficit o superávit del sector exterior vendrá dado por *ROWD*.

#### E. Mercado de trabajo

Las funciones de demanda de capital y trabajo se obtienen minimizando el coste de obtener el valor añadido. Para el factor capital, se supone que la oferta es perfec-



tamente inelástica y, por tanto, el factor está siempre plenamente ocupado. En el caso del mercado de trabajo, el modelo permite la existencia de algunas rigideces, por lo que el desempleo sería posible. No obstante, en este trabajo se considera pleno empleo. Más específicamente, se considera la ecuación [16] que muestra la relación existente entre el salario real y el nivel de desempleo:

$$\left( \frac{w}{cpi} \right) = \left( \frac{1-u}{1-u_0} \right)^{1/\beta_d} \quad [16]$$

Esta formulación del mercado de trabajo en la modelización de los modelos MEGA se debe a Kehoe *et al.* (1995), siguiendo lo establecido por Oswald (1982). La variable  $(w/cpi)$  representa el salario real;  $u$  es el nivel de desempleo;  $u_0$  es un parámetro que refleja el nivel de desempleo en el equilibrio inicial; y  $\beta_d$  es un parámetro que expresa la sensibilidad del salario real al nivel de desempleo. Este último parámetro puede tomar valores entre cero e infinito. En este trabajo se supone que  $\beta_d = 0$ , de forma que el salario real se ajustará suficientemente de forma que el desempleo permanecerá constante e igual al del equilibrio inicial.

#### F. Equilibrio

La noción de equilibrio que utiliza el modelo es el de equilibrio competitivo walrasiano, ampliado para incluir no sólo productores y consumidores, sino también al sector público y al sector exterior [véase, por ejemplo, Shoven y Whalley (1992)]. Específicamente, el equilibrio económico se determina por un vector de precios, un vector de niveles de actividad y un conjunto de macro variables, de forma que la oferta iguala a la demanda en todos los mercados, con la única excepción del mercado de trabajo, como se ha mencionado anteriormente. Se asume que cada uno de los agentes económicos incluidos en el modelo realiza sus elecciones óptimas bajo sus respectivas restricciones.

La demanda final incluye varios sectores. Por un lado, la demanda del sector público, la inversión y las exportaciones; y por otro lado, la demanda de bienes de consumo de las familias. En nuestro caso contaremos con veintisiete tipos de bienes –identificados con los sectores productivos– y un consumidor representativo que demanda bienes de consumo presente. El resto de su renta disponible constituye su ahorro. Las compras del consumidor representativo se financian, principalmente, con los ingresos derivados de la venta de sus dotaciones iniciales de factores. Todo se resume en [17]:

$$YD = wL(1-u) + rK + cpi \, TPS + TFS - \tau(rK + cpi \, TPS + TFS) - \tau[wL - ess \, wL(1-u)] - ess \, wL(1-u) \quad [17]$$

Respecto a la inversión y el ahorro, cabe decir que este modelo es de los denominados *saving driven model*, una de las formas más estándar de regla de cierre de los

modelos de Equilibrio General Aplicado<sup>9</sup>. Esto implica que la ecuación de cierre del modelo se define de tal forma que la inversión (*INV*) es exógena y el ahorro se determina por la decisión de los consumidores, a partir de la maximización de su función de utilidad, que es del tipo Cobb-Douglas. Se deja entonces que el déficit del sector público (*PD*) y del sector exterior (*ROWD*), se determinen endógenamente conforme a la identidad contable macroeconómica, que iguala la inversión total de la economía con el ahorro que proviene de todas las fuentes posibles (privado, público y exterior); y que se expresa del siguiente modo:

$$\sum_{j=1}^{27} INV_j p_i = p_i S + PD + ROWD \quad [18]$$

Finalmente decir que consideraremos pleno uso de los factores, tanto el trabajo como el capital, aunque para el primero de ellos el modelo tiene incluido la posibilidad de desempleo a partir de la ecuación 16. Además, los niveles de actividad del gobierno y de los sectores exteriores serán fijos, permitiendo que funcionen como variables endógenas los precios relativos, los niveles de actividad de los sectores productivos y los déficits públicos y exterior, como acabamos de explicar.

Con esto, el equilibrio será un estado de la economía en el que los consumidores maximizarán su utilidad, los sectores productivos maximizarán sus beneficios netos de impuestos y los ingresos del sector público coincidirán con los pagos de los diferentes agentes económicos. En este equilibrio, las cantidades ofrecidas serán iguales a las demandadas en todos los mercados.

Formalmente, el modelo reproducirá un estado de equilibrio de la economía andaluza donde las funciones de oferta y demanda de todos los bienes se obtendrán como la solución de los problemas de maximización de utilidad y beneficios. El resultado será un vector de precios de bienes y de factores, de niveles de actividad y de recaudaciones impositivas tales, que satisfagan las condiciones anteriormente descritas.

Siguiendo estas especificaciones, se reproducen los datos registrados en la MCS como un equilibrio microeconómico de referencia –*benchmark equilibrium*– en el que todos los precios (endógenos y exógenos) tienen nivel unitario en el momento inicial. A partir de ahí, introduciremos el incremento en la demanda de cada sector asociado al logro del objetivo PASENER provocando un *shock exógeno* en la demanda final de los sectores económicos reflejados en el cuadro 2. Este shock viene determinado por los gastos asociados a la construcción y funcionamiento de cada planta. Posteriormente, se evalúan los cambios comparando el nuevo equilibrio alcanzado con la situación original. Este modelo se ha implementado a través del programa *GAMS* [véase Brooke *et al.* (1988)] utilizando como “solver” *MINOS*.

<sup>9</sup> Una revisión extensa sobre las ventajas e inconvenientes de de las formas alternativas de cierre del modelo puede encontrarse en Rattso (1982), Robinson (1991) y Taylor (1990).

**CUADRO 2**  
**Sectores afectados por el Proyecto PASENER en al MCSAND08**

| Nº de Cuenta | Sector Productivo                     |
|--------------|---------------------------------------|
| 13           | Químicas                              |
| 14           | Minería y siderurgia                  |
| 15           | Elaborados metálicos                  |
| 16           | Maquinaria                            |
| 18           | Materiales de construcción            |
| 19           | Fabricación de material de Transporte |
| 20           | Otras manufacturas                    |
| 21           | Construcción                          |
| 24           | Transporte y Comunicaciones           |
| 25           | Otros servicios                       |

Fuente: Elaboración propia.

## 2.2. Los datos

Los usos de la biomasa que se han considerado han sido el térmico, la generación eléctrica y su uso en plantas de co-combustión. En este artículo se asume la hipótesis del logro de los objetivos fijados en el PASENER (Cuadro 1) para cada una de las tres tecnologías.

Dado que para estimar el impacto económico derivado de alcanzar los objetivos resulta necesario cuantificar el shock de demanda que llevaría asociado. Los Cuadros 3, 5 y 7 detallan los costes de inversión asociados a la planta tipo de uso de biomasa para uso térmico, para generación eléctrica y en plantas de co-combustión, respectivamente. Las columnas I y II recogen el coste de inversión valorado en euros y la participación de cada coste sobre el total, respectivamente. A su vez, en las columnas III y IV se especifica la parte del gasto que corresponde a la importación (resto de España y resto del mundo) y la parte que se realiza dentro de Andalucía, respectivamente. Para el cálculo de estas participaciones se ha tenido en cuenta la información recibida de las diferentes mediciones de empresas promotoras del sector de los proyectos analizados. De esta forma, se ha estimado el conjunto de productos o servicios que provienen de fuera, calculando los materiales no comprados en el mercado interior. La columna V muestra el montante total en euros del coste de inversión de cada planta correspondiente a la inversión interior.

A su vez, los Cuadros 4, 6 y 8 detallan los costes de operación y mantenimiento (O & M) asociados, respectivamente también, a cada una de esas plantas. En la segunda columna se recoge la valoración de los costes anuales por concepto establecido y en la tercera la participación de estos sobre el total. La cuarta columna refleja el coste por conceptos de operación y mantenimiento en el que incurren a lo largo de 20 años (que se estima es la vida útil de la planta). Siguiendo a Calzada *et al.* (2009), para la estimación de estos costes totales de O&M de cada planta, se ha utilizado una tasa de actualización del 8 por ciento. Por último, las dos columnas

## CUADRO 3

## Costes de inversión de una Planta de Biomasa para uso térmico

| A.- COSTES DE INVERSION          | I                | II (I/TOTAL)   | III                  | IV (100%-III) | V                |
|----------------------------------|------------------|----------------|----------------------|---------------|------------------|
| CONCEPTO                         | ⇔<br>INVERSIÓN   | %<br>INVERSIÓN | % IMPOR-<br>TACIONES | %<br>INTERIOR | ⇔<br>INTERIOR    |
| Caldera                          | 63.700,00        | 65,00%         | 50,00%               | 50,00%        | 31.850,00        |
| Almacenamiento y movim. Biomasa  | 11.760,00        | 12,00%         | 0,00%                | 100,00%       | 11.760,00        |
| Red de distribución agua         | 14.700,00        | 15,00%         | 0,00%                | 100,00%       | 14.700,00        |
| Ingeniería, Tramit <sup>10</sup> | 7.840,00         | 8,00%          | 0,00%                | 100,00%       | 7.840,00         |
| <b>TOTAL</b>                     | <b>98.000,00</b> | <b>100,00%</b> |                      |               | <b>66.150,00</b> |

Fuente: IDAE (2007b) y Elaboración propia.

## CUADRO 4

## Costes de O &amp; M de una Planta de Biomasa para uso térmico

| B.- COSTES O. M. y OTROS             | Coste anual<br>euros | % COSTES/<br>TOTAL | COSTES<br>TOTALES<br>(20 años) | %<br>INTERIOR | VALOR<br>INTERIOR |
|--------------------------------------|----------------------|--------------------|--------------------------------|---------------|-------------------|
| Operación y Mantenimiento<br>350⇔tep | 11.049,00            | 35,14%             | 143.857,98                     | 80%           | 115.086,38        |
| Seguros                              | 343,00               | 1,09%              | 4.465,86                       | 95%           | 4.242,57          |
| Compra de Biomasa                    | 14.325,00            | 45,56%             | 186.511,50                     | 100,00%       | 186.511,50        |
| Gastos Financieros <sup>11</sup>     | 5.721,77             | 18,20%             | 111.901,04                     | 70%           | 78.330,73         |
| <b>TOTAL</b>                         | <b>31.438,77</b>     |                    | <b>446.736,38</b>              |               | <b>384.171,18</b> |

Fuente: IDAE (2007b) y Elaboración propia.

<sup>10</sup> Tramitación de los diferentes permisos que requieren los proyectos para su ejecución. Proyecto de Ingeniería, Concesión del Punto de acceso y Punto de conexión a la red. Permisos Ambientales, Autorizaciones administrativas, Aprobación Régimen Especial de producción de electricidad, Licencias de obras, etc. todas las fases previas o paralelas a la ejecución, que requieren una tramitación administrativa, técnica o económica.

<sup>11</sup> Los gastos financieros provienen de las inversiones que se realizan a través de *Project Finance*, utilizando el promotor un 80% de la inversión mediante financiación ajena y el 20% con recursos propios.



## CUADRO 5

**Costes de inversión de una Planta de Biomasa de generación eléctrica  
con capacidad de 5 Mw**

| A.- COSTES DE INVERSION         | I                   | II (I/TOTAL)   | III                  | IV (100%-III) | V                   |
|---------------------------------|---------------------|----------------|----------------------|---------------|---------------------|
| CONCEPTO                        | ⇔<br>INVERSIÓN      | %<br>INVERSIÓN | % IMPOR-<br>TACIONES | %<br>INTERIOR | ⇔<br>INTERIOR       |
| Grupo Caldera-Turbina-Generador | 6.425.000,00        | 70,45%         | 50,00%               | 50,00%        | 3.212.500,00        |
| Obra Civil                      | 1.075.000,00        | 11,79%         | 0,00%                | 100,00%       | 1.075.000,00        |
| Infraestructuras eléctricas     | 560.000,00          | 6,14%          | 20,00%               | 80,00%        | 448.000,00          |
| Torre de refrigeración          | 375.000,00          | 4,11%          | 20,00%               | 80,00%        | 300.000,00          |
| Tratamiento de aire             | 310.000,00          | 3,40%          | 50,00%               | 50,00%        | 155.000,00          |
| Ingeniería, Trámites            | 375.000,00          | 4,11%          | 0,00%                | 100,00%       | 375.000,00          |
| <b>TOTAL</b>                    | <b>9.120.000,00</b> |                |                      |               | <b>5.565.500,00</b> |

Fuente: IDAE (2007a) y Elaboración propia.

finales permiten conocer el porcentaje del gasto que se realiza en el interior de la economía andaluza, correspondiendo el resto a importaciones, y su valoración económica. Las dos últimas columnas se realizan de forma similar a las correspondientes de los cuadros 3,5 y 7. Los costes de O & M se mantienen durante todo el periodo de vida útil mientras que los de inversión sólo durante el periodo de construcción de la planta.

## CUADRO 6

**Costes de O & M de una Planta de Biomasa de generación eléctrica  
con capacidad de 5 Mw**

| B.- COSTES O. M. y OTROS  | Coste anual<br>euros | % COSTES/<br>TOTAL | COSTES<br>TOTALES<br>(20 años) | %<br>INTERIOR | VALOR<br>INTERIOR   |
|---------------------------|----------------------|--------------------|--------------------------------|---------------|---------------------|
| Operación y Mantenimiento | 69.750,00            | 12,78%             | 908.145,00                     | 80%           | 726.516,00          |
| Seguros                   | 31.920,00            | 5,85%              | 415.598,40                     | 95%           | 394.818,48          |
| Compra de Biomasa         | 337.500,00           | 61,85%             | 4.394.250,00                   | 100,00%       | 4.394.250,00        |
| Gastos Financieros        | 106.495,00           | 19,52%             | 2.082.729,60                   | 70%           | 1.457.910,72        |
| <b>TOTAL</b>              | <b>545.665,00</b>    |                    | <b>7.800.723,00</b>            |               | <b>6.973.495,20</b> |

Fuente: IDAE (2007a) y Elaboración propia.



## CUADRO 7

**Costes de inversión de una Planta de Biomasa Co-Combustión 1 Mw**

(En Planta de 20,5 Mw, en Central Térmica de Carbón de 340 Mw, combustión en misma caldera)

| A.- COSTES DE INVERSION      | I              | II (I/TOTAL)   | III                  | IV (100%-III) | V             |
|------------------------------|----------------|----------------|----------------------|---------------|---------------|
| CONCEPTO                     | ⇔<br>INVERSIÓN | %<br>INVERSIÓN | % IMPOR-<br>TACIONES | %<br>INTERIOR | ⇔<br>INTERIOR |
| Pretratamiento de la biomasa | 2.232.450,00   | 45,00%         | 10,00%               | 90,00%        | 2.009.205,00  |
| Obra Civil                   | 1.587.520,00   | 32,00%         | 0,00%                | 100,00%       | 1.587.520,00  |
| Infraestructuras eléctricas  | 744.150,00     | 15,00%         | 5,00%                | 95,00%        | 706.942,50    |
| Ingeniería, Trámit           | 396.880,00     | 8,00%          | 0,00%                | 100,00%       | 396.880,00    |
| <b>TOTAL 1 MW</b>            | 242.000,00     |                |                      |               | 242.000,00    |
| <b>TOTAL 20.5 MW</b>         | 4.961.000,00   | 100,00%        |                      |               | 4.942.547,50  |

Fuente: Canalis P. *est.al.* (2005) y Elaboración propia.

## CUADRO 8

**Costes de O & M inversión de una Planta de Biomasa Co-Combustión 1 Mw**

(En Planta de 20,5 Mw, en Central Térmica de Carbón de 340 Mw, combustión en misma caldera)

| B.- COSTES O. M. y OTROS  | Coste anual<br>euros | % COSTES/<br>TOTAL | COSTES<br>TOTALES<br>(20 años) | %<br>INTERIOR | VALOR<br>INTERIOR |
|---------------------------|----------------------|--------------------|--------------------------------|---------------|-------------------|
| Operación y Mantenimiento | 45.000,00            | 0,62%              | 585.900,00                     | 90%           | 527.310,00        |
| Seguros                   | 17.363,50            | 0,24%              | 226.072,77                     | 95%           | 214.769,13        |
| Compra de Biomasa         | 6.918.750,00         | 95,16%             | 90.082.125,00                  | 100%          | 90.082.125,00     |
| Gastos Financieros        | 289.644,50           | 3,98%              | 5.664.703,09                   | 70%           | 3.965.292,16      |
| <b>TOTAL</b>              | 7.270.758,00         |                    | 96.558.800,86                  |               | 94.789.496,29     |

Fuente: Canalis P. *est.al.* (2005) y Elaboración propia.

Para valorar los costes de la planta de biomasa para uso térmico, se ha tomado como planta tipo una caldera de dimensiones medias para uso residencial centralizado, de casi 300 Kw, teniendo en cuenta que es un tamaño óptimo y que, incluso si no se instala en la construcción de la edificación, sigue siendo amortizable en un plazo muy reducido. A su vez, para valorar los costes de la planta de biomasa para generación eléctrica, se ha tomado como planta representativa una instalación de 5 Mw. Por último, para la valoración de los costes de plantas de co-combustión se ha considerado una planta térmica de carbón tipo de 340 Mw y una sustitución de carbón por biomasa de un 6,7 por ciento, lo que supone una potencia de 20,5 Mw.

### 3. Resultados

A partir del MEGA descrito anteriormente y construido sobre la base de la MCS actualizada para Andalucía para el año 2008, en este apartado se recoge la valoración del incremento en la producción, por sectores, asociado al gasto en inversión y funcionamiento operativo de las plantas de biomasa necesarias para el cumplimiento de los objetivos fijados en el PASENER, así como la participación de cada sector en dicho crecimiento. Asimismo, se estiman los empleos directos, indirectos e inducidos generados, la variación en la remuneración de los asalariados y en la recaudación impositiva.

#### **3.1 Efectos sectoriales asociados al desarrollo de ee.rr. basados en el uso de la biomasa en Andalucía**

El Cuadro 9 muestra que si los objetivos fijados en el PASENER relativos a los tres tipos de tecnologías relacionadas directamente con la biomasa se cumplieran plenamente, se generaría un incremento del 4,02 por ciento de la producción regional a lo largo de un periodo temporal coincidente con el de la vida útil de las plantas tipo (20 años), debido tanto a las inversiones necesarias para instalar las nuevas plantas como al funcionamiento operativo de las plantas durante este periodo.

De los tres tipos de tecnologías, la biomasa para la producción de energía térmica originaría prácticamente la mitad de ese incremento productivo y las de co-combustión en torno al 40 por ciento del mismo.

En este sentido, es relevante mostrar que el esfuerzo inversor para cumplir los objetivos fijados en el PASENER es muy diferente en las tres tecnologías, tal y como se muestra en el cuadro 10. Vemos que las plantas de co-combustión representan el 3,46 por ciento, las de generación eléctrica un 29,5 por ciento y las de uso térmico un 67,03 por ciento del coste total de inversión. Estos datos pueden explicar el hecho de que las tecnologías cuyos requerimientos de inversión fuesen más altos serían también las que mayor impacto tendrían en el crecimiento de la producción regional andaluza. Sin embargo, los datos ponen de manifiesto que tecnologías como la de uso térmico (con un alto gasto de inversión) sí explican un importante porcentaje del crecimiento de la producción regional andaluza (el 50 por ciento), pero tecnologías como la de co-combustión (con un pequeño gasto de inversión) lograría explicar el 40 por ciento de dicho crecimiento. La explicación de este distinto comportamiento del crecimiento de la producción regional andaluza reside en el efecto arrastre de ambas tecnologías.

Atendiendo a la división por sectores, en el Cuadro 9 se aprecia, en su conjunto, que los sectores que experimentan mayores cambios son los relacionados con los servicios destinados a la venta (12,74 por ciento), seguido del sector de elaborados metálicos (10,01 por ciento) y de los sectores agrícolas y ganaderos, con tasas de variación del 8,71 y 8,69 por ciento respectivamente. Por otra parte, los sectores asociados a la industria experimentan en su conjunto variaciones positivas que rondan el 3 por ciento, con la excepción de algunas industrias que no están aso-

## CUADRO 9

**Efectos sectoriales asociados al desarrollo de ee.rr. basados en el uso  
de la biomasa en Andalucía**

| COD | SECTORES PRODUCTIVOS  | PRODUCCIÓN (Keuros)  |                      | VARIACIÓN PORCENTUAL |             |             |             | PARTICIPACION EN EL INCREMENTO DE LA PRODUCCIÓN |              |              |              |
|-----|---|----------------------|----------------------|----------------------|-------------|-------------|-------------|---|--------------|--------------|--------------|
|     |   | ORIGINAL             | SIMULACIÓN           | TOTAL                | T*          | E*          | C*          | TOTAL   | T*           | E*           | C*           |
| 1   | Agricultura   | 9.360.929,333        | 10.176.021,5         | 8,71                 | 3,15        | 0,63        | 4,93        | 5,95  | 2,15         | 0,43         | 3,37         |
| 2   | Ganadería   | 2.240.881,794        | 2.435.546,565        | 8,69                 | 3,66        | 0,84        | 4,19        | 1,42  | 0,60         | 0,14         | 0,69         |
| 3   | Pesca   | 961.208,2725         | 993.721,1592         | 3,38                 | 1,65        | 0,60        | 1,13        | 0,24  | 0,12         | 0,04         | 0,08         |
| 4   | Extracción de productos energéticos                             | 2.855.654,767        | 2.940.701,816        | 2,98                 | 1,42        | 0,66        | 0,90        | 0,62  | 0,30         | 0,14         | 0,19         |
| 5   | Resto extractivas   | 2.590.448,338        | 2.654.867,274        | 2,49                 | 1,14        | 0,87        | 0,47        | 0,47  | 0,22         | 0,17         | 0,09         |
| 6   | Refino de petróleo y tratamiento residuos nucleares             | 12.271.300,29        | 12.601.872,3         | 2,69                 | 1,29        | 0,56        | 0,84        | 2,41  | 1,16         | 0,50         | 0,76         |
| 7   | Producción y distribución de energía eléctrica                  | 4.706.444,828        | 4.898.131,32         | 4,07                 | 2,00        | 0,82        | 1,26        | 1,40  | 0,69         | 0,28         | 0,43         |
| 8   | Producción y distribución de gas, vapor de agua y agua caliente | 506.284,0364         | 526.078,6872         | 3,91                 | 1,69        | 1,24        | 0,98        | 0,14  | 0,06         | 0,05         | 0,04         |
| 9   | Captación, depuración y distribución de agua                    | 1.082.830,639        | 1.127.742,857        | 4,15                 | 1,97        | 0,70        | 1,47        | 0,33  | 0,16         | 0,06         | 0,12         |
| 10  | Alimentación  | 31.299.094,63        | 31.845.659,93        | 1,75                 | 0,85        | 0,34        | 0,55        | 3,99  | 1,95         | 0,78         | 1,26         |
| 11  | Textil y piel   | 7.265.357,081        | 7.543.052,964        | 3,82                 | 1,88        | 0,67        | 1,27        | 2,03  | 1,00         | 0,36         | 0,67         |
| 12  | Elaborados de madera  | 4.460.812,623        | 4.591.856,04         | 2,94                 | 1,56        | 0,61        | 0,77        | 0,96  | 0,51         | 0,20         | 0,25         |
| 13  | Químicas  | 13.347.205,16        | 13.776.941,62        | 3,22                 | 1,73        | 0,55        | 0,94        | 3,14  | 1,69         | 0,53         | 0,92         |
| 14  | Minería y siderurgia  | 5.580.485,878        | 5.877.790,343        | 5,33                 | 2,29        | 2,66        | 0,37        | 2,17  | 0,93         | 1,09         | 0,15         |
| 15  | Elaborados metálicos  | 4.419.720,819        | 4.862.143,787        | 10,01                | 5,36        | 3,96        | 0,69        | 3,23  | 1,73         | 1,28         | 0,22         |
| 16  | Maquinaria  | 16.080.156,93        | 16.567.381,73        | 3,03                 | 1,52        | 0,85        | 0,66        | 3,56  | 1,79         | 1,00         | 0,78         |
| 17  | Vehículos   | 7.059.812,996        | 723.9169,43          | 2,54                 | 1,24        | 0,53        | 0,77        | 1,31  | 0,64         | 0,27         | 0,40         |
| 18  | Materiales de construcción                                      | 7.208.831,807        | 7.362.323,677        | 2,13                 | 0,97        | 0,65        | 0,51        | 1,12  | 0,51         | 0,34         | 0,27         |
| 19  | Fabricación de material de Transporte                           | 2.322.264,434        | 2.341.301,986        | 0,82                 | 0,41        | 0,19        | 0,22        | 0,14  | 0,07         | 0,03         | 0,04         |
| 20  | Otras manufacturas  | 9.306.621,488        | 9.762.893,129        | 4,90                 | 2,95        | 1,09        | 0,87        | 3,33  | 2,00         | 0,74         | 0,59         |
| 21  | Construcción  | 48.650.638,07        | 49.329.782,8         | 1,40                 | 0,69        | 0,25        | 0,45        | 4,96  | 2,45         | 0,91         | 1,60         |
| 22  | Comercio de carburantes   | 2.147.196,837        | 2.216.458,695        | 3,23                 | 1,58        | 0,60        | 1,05        | 0,51  | 0,25         | 0,09         | 0,16         |
| 23  | Resto comercio  | 39.031.290,34        | 40.414.494,3         | 3,54                 | 1,68        | 0,44        | 1,42        | 10,10   | 4,80         | 1,26         | 4,04         |
| 24  | Transporte y Comunicaciones                                     | 19.593.291,06        | 20.295.807,49        | 3,59                 | 1,79        | 0,74        | 1,05        | 5,13  | 2,56         | 1,07         | 1,51         |
| 25  | Otros servicios   | 28.924.041,41        | 30.579.122,15        | 5,72                 | 3,38        | 1,02        | 1,32        | 12,09   | 7,15         | 2,15         | 2,79         |
| 26  | Servicios destinados a la venta                                 | 31.082.097,28        | 35.040.582,55        | 12,74                | 6,30        | 2,27        | 4,17        | 28,91   | 14,30        | 5,15         | 9,46         |
| 27  | Servicios no destinados a la venta                              | 26.174.924,08        | 26.220.916,31        | 0,18                 | 0,09        | 0,03        | 0,06        | 0,34  | 0,17         | 0,06         | 0,11         |
|     | <b>TOTAL</b>  | <b>340.529.825,2</b> | <b>354.222.362,4</b> | <b>4,02</b>          | <b>2,01</b> | <b>0,77</b> | <b>1,25</b> | <b>100,00</b>                                   | <b>49,91</b> | <b>19,10</b> | <b>30,99</b> |

T\* = plantas de biomasa de uso térmico, E\* = plantas de generación eléctrica, C\* = plantas de co-combustión

Fuente: Elaboración propia.



**CUADRO 10**  
**Inversión necesaria en plantas de biomasa para alcanzar los**  
**objetivos PASENER**

|                              | INVERSIÓN (€)      | PARTICIPACIÓN (%) |
|------------------------------|--------------------|-------------------|
| Plantas Co-Combustión 1 Mw   | 29.568.286         | 3,46              |
| Plantas de uso térmico       | 572.480.792        | 67,03             |
| Plantas Generación Eléctrica | 251.977.781        | 29,50             |
| <b>TOTAL</b>                 | <b>854.026.858</b> | <b>100,00</b>     |

Fuente: Elaboración propia.

ciadas a esta energía, como la de alimentación o la industria del transporte. Asimismo, el sector de la producción y distribución de energía eléctrica, el de producción y distribución de gas, vapor de agua y agua caliente; y el de captación, depuración y distribución de agua crecen en torno al 4 por ciento.

Adicionalmente al cálculo de la variación porcentual que experimentaría la producción sectorial de Andalucía como consecuencia del cumplimiento del PASENER, se ha considerado interesante analizar el peso relativo que cada uno de estos sectores tendría en el incremento absoluto de dicha producción.

En la última columna del Cuadro 9 se muestra la participación del incremento productivo de cada sector sobre el incremento productivo global, así como la participación de cada sector y tecnología en dicho incremento. Estos datos nos permiten analizar la importancia relativa de cada incremento en el crecimiento de la economía andaluza.

En este sentido, cabe destacar, que más del 55 por ciento del incremento productivo está asociado al sector servicios, siendo notable el sector de los servicios destinado a las ventas que representa el 29 por ciento del incremento productivo global. Por su parte, los sectores agrícola y ganadero representan conjuntamente algo más del 7 por ciento del incremento global, siendo especialmente notoria la participación del 5,9 por ciento del sector agrícola. Asimismo, el sector de Transporte y comunicaciones, así como el sector de la construcción representan aproximadamente un 5 por ciento respectivamente del incremento global productivo. Por último, habría que señalar que los sectores industriales que tienen una mayor participación en el incremento productivo son los sectores de elaborados metálicos y maquinaria.

Diferenciando por tecnologías que emplean biomasa, es preciso destacar que la de uso térmico genera mayores incrementos productivos en el sector terciario, así como en el resto de casi todos los demás sectores productivos. No obstante, la tecnología que genera mayores incrementos productivos en el sector agrícola, tanto por su tasa de variación como por su participación en dicho incremento es la de co-combustión. Esta tecnología genera una variación porcentual de la producción agrícola de casi el 5 por ciento, representando dicho incremento un 3,37 por ciento del incremento productivo global que originan las nuevas plantas de renovables a partir de biomasa en Andalucía.

Por otro lado, los resultados muestran un importante impacto de las plantas de uso térmico y de generación eléctrica sobre los sectores de la minería y siderurgia, en el de elaborados metálicos y en el de maquinaria, ya que aunque su participación en el incremento productivo global representa en torno al uno por ciento en cada uno de estos sectores, en su conjunto representan casi un 8 por ciento del incremento productivo global. En este sentido, consideramos que la relevancia de los incrementos productivos de estos sectores mencionados anteriormente puede asociarse a la puesta en funcionamiento de estas plantas, por lo que los efectos estarán concentrados y limitados a los primeros años.

Una vez que entren en funcionamiento todas las plantas, los sectores principalmente beneficiados son el agrícola y los relacionados con los servicios. En el primer caso, este resultado se explica por tratarse de sectores asociados a la materia prima necesaria para el funcionamiento de las plantas (de biomasa). En el segundo caso, puede explicarse por las actividades complementarias que se desarrollan en torno a la nueva industria creada, y que están relacionadas con el transporte de materias primas y con otras actividades terciarias vinculadas directamente a las funciones de mantenimiento y reparación. El resto de actividades terciarias se incrementan debido al efecto multiplicador de los ingresos extras que se obtienen en los sectores directamente relacionados con las nuevas plantas energéticas.

### **3.2 Impacto socioeconómico asociado al cumplimiento de los objetivos del PASENER**

El Cuadro 11 recoge los efectos socioeconómicos asociados a la inversión y funcionamiento operativo de las plantas de biomasa necesarias para el cumplimiento de los objetivos fijados en el PASENER. Estos resultados se obtienen también a partir del modelo de equilibrio general descrito anteriormente<sup>12</sup>.

Como se puede apreciar en el Cuadro 11, el empleo directo generado por los tres tipos de plantas es superior en las de biomasa para uso térmico, siendo bastante reducido el generado por las plantas de co-combustión. En este último caso, hay que recordar, que este tipo de planta está en funcionamiento utilizando carbón, y sólo se realizan inversiones para posibilitar la sustitución de carbón por biomasa en un 6,7 por ciento. Por lo tanto, el empleo directo generado es reducido.

No obstante, al valorar el empleo indirecto e inducido asociado a cada planta, se observa que para todo el periodo de funcionamiento de la planta, este empleo es de

<sup>12</sup> Para estimar el empleo directo asociado a una planta tipo se considera el gasto anual en salarios. Este gasto representa un porcentaje de los costes de operación y mantenimiento. Cada empleo se considera asociado a un periodo de trabajo de 1.800 horas/año. En el caso de una planta de biomasa de co-combustión de 20,5 MW, instalada en una central térmica de carbón de 340 MW, con el supuesto de combustión en misma caldera, el empleo anual directo es de 0.05. En el caso de una planta de biomasa de 290 Kw instalada en una comunidad de vecinos con capacidad de 38,7 tep/año, el empleo anual directo es de 0.05. Por último, en el caso de una planta de biomasa para generación eléctrica de 5 MW, con tecnología de turbina de vapor sin gasificación, el empleo anual directo es de 1.53. Esta estimación se realiza a partir de los datos ofrecidos por IDAE (2007a y 2007b) y Canalis, P. *et al.* (2005).

algo más de 76.000 empleos para las plantas de co-combustión, 126.603 para las de uso térmico y 52.426 para las de generación eléctrica. Por otro lado, el incremento de remuneración oscila entre un 4,09 por ciento en las plantas de uso térmico y un 1,79 por ciento en las de generación eléctrica. Finalmente, el incremento del excedente bruto de explotación es también mayor en las plantas de uso térmico (3,13), así como el incremento de la recaudación impositiva generado (0,77%).

En resumen, podemos concluir que la tecnología que tendría mayor impacto sobre la economía andaluza, tanto desde el punto de vista productivo, como desde el punto de vista de su impacto socioeconómico, en el caso de que los objetivos del PASENER se cumplieran plenamente, sería la de uso térmico.

CUADRO 11

**Impacto socioeconómico asociado al cumplimiento de los objetivos del PASENER**

|  | <b>Plantas de<br/>co-combustión</b> | <b>Planta de biomasa<br/>de uso térmico</b> | <b>Plantas de<br/>generación eléctrica</b> |
|--|-------------------------------------|---|--|
| Empleos Directos<br>(Trabajadores)               | 26                                  | 2016  | 560  |
| Empleos Indirectos e Inducidos<br>(Trabajadores) | 76.305                              | 126.604                                     | 52.426                                     |
| Remuneración de los Trabajadores<br>(Incremento) | 2,24%                               | 4,09%                                       | 1,79%                                      |
| Excedente Bruto de Explotación<br>(Incremento)   | 2,19%                               | 3,13%                                       | 1,08%                                      |
| Recaudación Impositiva<br>(Incremento)           | -0,12%                              | 0,77%                                       | 0,5%                                       |

Fuente: Elaboración propia.

**4. Conclusiones**

A partir del modelo de equilibrio general computable desarrollado sobre la base de la MCS actualizada para Andalucía para el año 2008 puede afirmarse que, si los objetivos fijados en el plan PASENER relativos a la capacidad de las plantas de biomasa de uso térmico, de generación eléctrica y de co-combustión, cifrados para estas tecnologías en una capacidad de 649 Ktep, 256 MW y 122 MW respectivamente, y sobre la base de la vida útil de cada planta, se originaría un incremento del 4,02 por ciento de la producción, del que prácticamente la mitad está asociado a las plantas de energía térmica. Asimismo, desde el punto de vista de su impacto socioeconómico, tanto el empleo directo, indirecto e inducido, como el incremento de la remuneración, del excedente bruto de explotación y de la recaudación impositiva generados por estas plantas también son superior al resto de tecnologías.

La puesta en funcionamiento de estas plantas, además de su impacto positivo sobre el incremento de la producción regional, también supone beneficios sobre el entorno que las rodea, sobre todo, en las zonas rurales, ya que muchas de estas plantas están localizadas cerca de su fuente de recursos, la biomasa. Estas plantas pueden revitalizar el entorno rural donde se asientan generando no sólo beneficios temporales sino a más largo plazo, pudiendo servir de elemento adicional en la lucha contra la despoblación del entorno rural. En este sentido debemos destacar los efectos positivos sobre el mercado de trabajo y las sinergias positivas que dicho empleo genera en una región.

Como muestran los resultados obtenidos, podemos concluir que, en términos generales, los incrementos productivos asociados a los sectores de la construcción y de las actividades industriales pueden asociarse a la construcción de las nuevas plantas. En este caso, sus efectos sobre el entorno serán temporales y escasos.

No obstante, el funcionamiento ordinario de la planta genera efectos positivos, principalmente, sobre el sector agrícola y de servicios. El primer sector está directamente relacionado con el medio rural mientras que el segundo abre muchas posibilidades para el desarrollo de actividades complementarias en el entorno cercano, lo que permite revitalizar zonas rurales.

Veamos esta cuestión con más detalle. Por un lado, el funcionamiento de estas plantas puede alimentarse a base de aprovechamientos agrícolas extraordinarios, como restos forestales, o puede suponer la puesta en cultivo de zonas desechadas. Esta circunstancia puede suponer importantes ingresos extras para el mundo rural. Por otro lado, el desarrollo del sector servicios tiene especial importancia, ya que más del 55 por ciento del incremento productivo está asociado a este sector. Este factor también supone una oportunidad para que se desarrollen nuevas empresas locales especializadas en estos servicios en el medio rural. No obstante, dicho desarrollo estará condicionado a que la población del entorno tenga la suficiente cualificación para el desempeño de las tareas requeridas. En este sentido, resulta fundamental la formación adecuada del personal y las políticas de promoción del empleo rural en estas actividades.

Por último, las inversiones relacionadas con la red eléctrica pueden afectar de forma notable al entorno rural, al dotarlo con redes de alta calidad, permitiendo y garantizando el suministro de energía a zonas que por sus características son especialmente complicadas.

Por tanto, más allá del impacto propio de estas plantas, como es la producción de energía verde no contaminante, que permite disminuir además la dependencia energética de la región andaluza y la nacional; la puesta en funcionamiento de estas plantas asociadas a la biomasa, pueden generar importantes beneficios sobre el medio rural. Este hecho ha de ser considerado y valorado a la hora de implementar las políticas de promoción de las plantas de generación de energía a partir de la biomasa, tales como el PASENER.



## Bibliografía

- Allan, G.J., Bryden, I., McGregor, P.G., Stallard, T. Swales, J.K., Turner, K. y Wallace, R. (2008). "Concurrent and legacy economic and environmental impacts from establishing a marine energy sector in Scotland". *Energy Policy*, 36(7):2734–2753.
- Agencia Andaluza de la Energía (2008a). *Situación de la Biomasa en Andalucía*. Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa. Junta de Andalucía, Sevilla.
- Agencia Andaluza de la Energía (2008b). *Datos Energéticos de Andalucía*. Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa. Junta de Andalucía, Sevilla.
- APPA. (2009). *Estudio del Impacto Macroeconómico de las Energías Renovables en España*. Asociación de Productores de Energías Renovables, Madrid.
- Arndt, C., Robinson, S. y Tarp, F. (2002). "Parameter estimation for a computable general equilibrium model: a maximum entropy approach". *Economic Modeling*, 19:375-398.
- Brooke, A., Kendrick, D. y Meeraus, A. (1988). *GAMS. A User's Guide*. The Scientific Press.
- Caldés, N.; Varela, M.; Santamaría, M. y Sáez, R. (2009). "Economic impact of solar thermal electricity deployment in Spain". *Energy Policy*, 37(5):1628-1636.
- Calzada, G., Merino, R. y Rallo, J.R. (2009). "Study of the effects on employment of public aid to renewableenergy sources". Universidad Rey Juan Carlos. <http://www.juandemariana.org/pdf/090327-employment-public-aid-renewable.pdf>
- Cámara, A. (2006). *Estimación de la matriz de contabilidad social de la Comunidad de Madrid para el año 2000: análisis de impacto de los fondos europeos 2000-2006 en la región aplicando la metodología de multiplicadores lineales*. Tesis Doctoral, Universidad Rey Juan Carlos, Madrid.
- Canalis, P., Royo, J., García, D. y Sebastián, F. (2005). "La co-combustión: una alternativa para incrementar la contribución de la biomasa en el mercado eléctrico español" *Energía: Revista de Ingeniería Energética*, XXXI (185): 68-77.
- Cardenete, M.A. (1998). "Una matriz de contabilidad social para la economía andaluza: 1990". *Revista de Estudios Regionales*, 52:137-153.
- Cardenete, M.A., Fuentes, P. y Polo, C. (2010). "Análisis de sectores claves a partir de la matriz de contabilidad social de Andalucía para el año 2000". *Revista de Estudios Regionales*, 88:15-44.
- Cardenete, M.A. y Moniche, L. (2001). "El nuevo marco input-output y la SAM de Andalucía para 1995". *Cuadernos Ciencias Económicas y Empresariales*, 41:13-32.
- Cardenete, M.A. y Sancho, F. (2003). "An applied general equilibrium model to assess the impact of national tax changes on a regional economy". *Review of Urban and Regional Development Studies*, 15(1): 55-65.
- Cardenete, M.A. y Sancho, F. (2004). "Sensitivity of simulation results to competing SAM updates". *The Review of Regional Studies*, 34(1):37-56.
- Cardenete, M.A. y Sancho, F. (2006). "Elaboración de una matriz de contabilidad social a través del método de entropía cruzada: España 1995". *Estadística Española*, 48(161):67-100.
- Ciorba, U., Pauli, F. y Menna, P. (2004). "Technical and economical analysis of an induced demand in the photovoltaic sector". *Energy Policy*, 32(8):949–960.
- Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa. (2007). *Plan Andaluz de Sostenibilidad Energética*. Agencia Andaluza de la Energía. Junta de Andalucía, Sevilla.
- Cook, C. (1998). "The Maryland solar roofs program: state and industry partnership for PV residential commercial viability using the state procurement process". Comunicación presentada a *II World Conference on Photovoltaic Solar Energy Conversion*, Vienna.



- Curbelo, J.R. (1988). "Crecimiento y equidad en una economía regional estancada: El caso de Andalucía (Un análisis en el marco de las matrices de contabilidad social)". *Investigaciones Económicas*, 12(3):501-518.
- De Miguel, F.J. (2003). *Matrices de contabilidad social y modelización de equilibrio general: Una aplicación para la economía extremeña*, Tesis Doctoral, Universidad de Extremadura, Badajoz.
- De Miguel, F.J., Manresa, A. y Ramajo, J. (1998). "Matriz de contabilidad social y multiplicadores contables: una aplicación para Extremadura". *Estadística Española*, 40(143):195-232.
- Era. (2010). *Referencias de proyectos*. Energy Research Architecture. <http://www.energy-research-architecture.com/referencias/>
- Fernández, M. y Polo, C. (2001). "Una nueva matriz de contabilidad social para España: la SAM-90". *Estadística Española*, 43(148):281-311.
- Golan, A., Judge, G. y Miller, D. (1996). *Maximum Entropy Econometrics: Robust Estimation with Limited Data*. John Wiley & Sons, New York.
- IDAE. (2007a). *Biomasa: Producción Eléctrica y Cogeneración*. Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía, Madrid.
- IDAE. (2007b). *Energía de la Biomasa*. Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía, Madrid.
- IEA. (2006). *Sistema de Cuenta Económicas de Andalucía. Marco Input-Output 2000*. Volumen I y II. Instituto de Estadística de Andalucía, Sevilla.
- IEA. (2009). *Contabilidad Regional de Andalucía de 2000 (CRA-00)*. Instituto de Estadística de Andalucía, Sevilla. <http://www.juntadeandalucia.es:9002/craa/>
- INE. (2009). *Contabilidad Regional, Base de Datos TEMPUS, 2000*. Instituto de Nacional de Estadística, Madrid. <http://www.ine.es/GSTConsul/arbolAction.do>
- INE. (2009). *Contabilidad Regional de España de 2000, Base 1995 (CRE-00)*. Instituto de Nacional de Estadística, Madrid.
- Jaynes, E. (1982). "On the rationale of maximum-entropy methods". *Proceedings IEEE*, 70:939-952.
- Kehoe, T.J., Polo, C. y Sancho, F. (1995). "An evaluation of the performance of an applied general equilibrium model of the Spanish economy". *Economic Theory*, 6:115-141.
- Kehoe, T.J., Manresa, A., Polo, C. y Sancho, F. (1988). Una matriz de contabilidad social de la economía española. *Estadística Española*, 30(117):5-33.
- Kuliši, B., Loizou, E., Rozakis, S. y Šegon, V. (2007). "Impacts of biodiesel production on Croatian economy". *Energy Policy*, 35(12):6036-6045.
- Llop, M. y Manresa, A. (1999). "Análisis de la economía de Cataluña (1994) a través de una matriz de contabilidad social". *Estadística Española*, 41(144): 241-268.
- Madlener, R. y Koller, M. (2007). "Economic and CO<sub>2</sub> mitigation impacts of promoting bio-mass heating systems: An input-output study for Vorarlberg, Austria". *Energy Policy*, 35(12):6021-6035.
- Mainar, A. y Flores, M. (2005). "Aproximación a la estructura de la economía aragonesa: Matriz de Contabilidad Social 1999 y Landscape". *Actas de la XXXI Reunión de Estudios Regionales*. Alcalá de Henares.
- Manresa, A. y Sancho, F. (2004). "Energy intensities and CO<sub>2</sub> emissions in Catalonia: a SAM análisis". *International Journal Environment, Workplace and Employment*, 1(1):91-106.
- MITRE (2009). *Member State overview reports-Spain-*. Monitoring and Modelling Initiative on the Targets for Renewable Energy . <http://mitre.energyprojects.net/>
- Moreno, B. y López, A.J. (2008). "The effect of renewable energy on employment. The case of Asturias (Spain)". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(3):732-751.



- Oswald, A.J. (1982). "The microeconomic theory of the trade union". *Economic Journal*, 92(367):576-595.
- Pyatt, G. y Round, J. (1979). "Accounting and fixed price multipliers in a social accounting framework". *Economic Journal*, 89(356):850-873.
- Ramos, C., Fernández, E. y Presno, M.J. (2001). "Análisis de la economía asturiana a través de la matriz de contabilidad social. Una aplicación a la teoría de los multiplicadores". Comunicación presentada al *IV Encuentro de Economía Aplicada*, Reus.
- Rattso, J. (1982). "Different macroclosures of the original Johansen model and their importance in policy evaluation". *Journal of Policy Modeling*, 4(1):85-97.
- Robinson, S. (1991). "Macroeconomics, financial variables, and computable general equilibrium models". *World Development*, 19(11):1509-25.
- Rubio, M.T. (1995). *Análisis input-output: Aplicaciones para Castilla-León*. Servicio de Estudios de la Consejería de Economía y Hacienda, Junta de Castilla y León, Valladolid.
- Sánchez -Choliz, J., Duarte, R. y Mainar, A. (2007). "Environmental impact of household activity in Spain". *Ecological Economics*, 62(2):308-318.
- Shoven, J.B. (1976). "The incidence and efficiency effects of taxes on income from capital". *Journal of Political Economy*, 86(6):1261-1284.
- Shoven, J.B. y Whalley, J. (1972). "A general equilibrium calculation of the effects of differential taxation of income from capital in the U.S.". *Journal of Public Economics*, 1(3-4):281-321.
- Shoven, J.B. y Whalley, J. (1992). *Applying General Equilibrium*. Cambridge University Press, New York.
- Stone, R. (1962). *A Social Accounting Matrix for 1960. A Programme for Growth*. Chapman and Hall Ltd, London.
- Taylor, L. (1990). "Structuralist CGE models". En Taylor, L. (ed.): *Socially Relevant Policy Analysis*. MIT Press, Cambridge, MA: 1-70.
- Uriel, E., Beneito, P., Ferri, J. y Moltó, L. (1997) *Matriz de Contabilidad Social de España (MCS- 1990)*. Instituto Nacional de Estadística, Madrid.
- Uriel, E., Ferri, J. y Moltó, L. (2005). *Matriz de Contabilidad Social de España (MCS- 1995)*. Instituto Nacional de Estadística, Madrid.
- US-Department of Energy, (1992). *Economic impact of a photovoltaic module manufacturing facility*. US-DOE.
- Walras, L. (1874). *Elementos de Economía Política Pura*. Alianza Editorial, Madrid, 1987.
- Whalley, J. (1975). "A general equilibrium assessment of the 1973 United Kingdom Tax Reform". *Econometrica*, 42(166):139-161.
- Whalley, J. (1977). "The United Kingdom system, 1968-1970: Some fix point indications of its economic impact". *Econometrica*, 45(8):1837-1858.

